



Technická univerzita v Liberci

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 - Informatika a logistika

Analýza RCM na zvoleném rotačním stroji

RMC analysis of suitable rotate machine

Bakalářská práce

Autor:	Lukáš Patrman
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Zajíček
Konzultant:	Ing. Jan Kamenický

V Liberci 21. 5. 2010



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš PATRMAN**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Informatika a logistika**

Název tématu: **Analýza RCM na zvoleném rotačním stroji**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznámení s postupy analýzy RCM
2. Popis struktury dat potřebných pro detailní analýzu a jejich zajištění v praxi
3. Formulace nedostatků metodiky
4. Analýza RCM na vhodně zvoleném rotačním stroji



Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

1. Moubray J. M.: Reliability-centred Maintenance. Second edition.
Butterworth-Heineman, Oxford, 1997


2. Fuchs, P.: Využití spolehlivosti v provozní praxi, Liberec, 2002

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Zajíček
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jan Kamenický
Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Datum zadání bakalářské práce: 16. října 2009
Termín odevzdání bakalářské práce: 21. května 2010


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 16. října 2009



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 21. 5. 2010

Podpis



Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Zajíčkovi, za nesmírnou trpělivost a cenné rady týkající se této práce.

Dále děkuji své rodině a přátelům za velkou míru trpělivosti a pochopení v čase, kdy jsem vypracovával tuto práci.

Za technické informace týkající se tanvaldské vodní elektrárny děkuji p. Kohoutovi, který byl velmi ochoten a věnoval mi spoustu svého volného času.

Za ekonomické informace děkuji p. Medlíkovi, který byl velmi ochotný a vstřícný.



Abstrakt

Tato bakalářské práce se zabývá analýzou RCM na kaplanově turbíně. Turbína je umístěna na malé vodní elektrárně v Tanvaldě.

Teoretická část se věnuje historii údržby a jejím typům. Dále je zde uvedena metodika RCM. Popsán je způsob rozdělení zařízení, způsoby poruch a vyhodnocení následků takové poruchy.

Praktická část se obsahuje provedení analýzy RCM na kaplanově turbíně v tanvaldské elektrárně. V první části jsou popsány vodní elektrárny a jejich využití při výrobě elektrické energie. Dále je uveden technický popis kaplanovy turbíny. Turbína je rozdělena na jednotlivé prvky. Každému prvku je specifikována jeho funkce. Popsány jsou poruchy na těchto prvcích. Jako vstupní data pro výpočet indexu efektivnosti údržby slouží střední doby do poruchy a ekonomická data z údržby. Poslední kapitola praktické části obsahuje navrhované změny v systému údržby.

Na závěr jsou uvedeny nedostatky metodiky RCM. Nedostatky jsou rozděleny jak na nedostatky metodické tak na nedostatky konkrétní analýzy.

Klíčová slova: RCM, údržba, porucha, kaplanova turbína, vodní elektrárna



Abstract

This final assignment deals with an analysis of RCM on the adjustable-blade-type turbine. This turbine is placed on a small water power plant in Tanvald.

The theoretical part follows the history of a maintainance and its types. The methodics of RCM is mentioned furthermore. The way of subdivision of the mechanism, malfunction types and an evaluation of such defects are described.

The practical part includes an implementation of an analysis of RCM on the adjustable-blade-type turbine in Tanvald power plant. In the first part the water power plants and their use in electrical energy production are described. A technical description of an adjustable-blade-type turbine is stated further. The turbine is divided in single elements whereas every element has its attached task. Malfunctions on these elements are described. The average times leading to a failure and the economical data obtained from the maintainance are used as the input data for the calculation of an maintainance efficiency index. The last chapter of the practical part includes changes proposed in the maintainance system.

At the conclusion the deficiencies of RCM methodics are mentioned and these are divided into methodical deficiencies and the deficiencies of the particular analysis.

Key words: RCM, maintainance, malfunction, adjustable-blade-type turbine, water poer plant



Obsah

Prohlášení.....	2
Poděkování.....	5
Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
1. Úvod.....	10
2. Údržba.....	11
2.1 Historický vývoj údržby	11
2.2 Typy údržby	14
3. Metodika RCM	20
3.1 Pravděpodobnost poruchy.....	21
3.2 Rozbor zařízení	23
3.3 Poruchy a jejich způsoby	25
3.4 Ekonomické následky	27
3.5 Zdravotní a bezpečnostní následky	28
3.6 Environmentální následky	28
3.7 Hodnocení údržby	29
4. Analýza RCM na kaplanově turbíně.....	31
4.1 Základní popis vodní elektrárny	31
4.2 Popis kaplanovy turbíny	32
4.3 Významné subsystémy a jejich funkce	33
4.4 Popis významných prvků.....	35
4.5 Popis způsobů poruch na významných prvcích.....	36
4.6 Popis následků poruch na významných prvcích	37
4.7 Analýza stávající údržby	39
4.8 Doba do poruchy.....	40
4.9 Vyhodnocení ekonomické efektivity údržby	41
4.10 Návrh změny údržby	45
5. Nedostatky metodiky RCM	47
5.1 Nedostatky metodické.....	47
5.2 Nedostatky analýzy kaplanovy turbíny.....	48
6. Závěr	49
7. Literatura.....	50



Seznam obrázků

Obrázek 1 - typy modelů údržby v jednotlivých generacích	14
Obrázek 2 - Údržba po poruše	15
Obrázek 3 - Periodická údržba.....	17
Obrázek 4 - Prediktivní údržba	18
Obrázek 5 - Spolehlivostně orientovaná údržba	19
Obrázek 6 - Normální rozdělení	21
Obrázek 7 - Exponenciální rozdělení.....	22
Obrázek 8 - Schéma kaplanovy turbíny.....	33
Obrázek 9 - spirála.....	34
Obrázek 10 - Natočení lopatek oběžného kola	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 - popis poruch	38
Tabulka 2 - analýza údržby.....	40
Tabulka 3 - doba do poruchy	40
Tabulka 4 - ceny dílů	41
Tabulka 5 - revize a demontáž turbíny	42
Tabulka 6 - pravidelná údržba ložiska.....	43
Tabulka 7 - porucha ložiska.....	43



1. Úvod

Úkolem této bakalářské práce je provést analýzu RCM na rotačním stroji. Pro analýzu byla vybrána malá vodní elektrárna v Tanvaldě. Tato analýza se zaměřuje na spolehlivostně orientovanou údržbu s minimalizací nákladů.

Práce je strukturována do několika kapitol, přičemž praktická aplikační část je oddělena od teoretického úvodu.

Druhá kapitola je věnována údržbě. Součástí je historie údržby, aby bylo zřejmé, jak se údržba vyvíjela. Popsány jsou také jednotlivé typy údržby.

V další kapitole je hlavní teoretický základ, týkající se rozboru zařízení, poruch a jejich následků.

Čtvrtá kapitola je věnována provedení konkrétní analýzy. V této části je uveden základní popis kaplanovy turbíny, konkrétní poruchy, stávající údržba a její ekonomické vyhodnocení. Na základě těchto vstupních dat jsou navrženy změny vedoucí ke snížení celkových nákladů na provoz zařízení.

Předposlední kapitola shrnuje nedostatky RCM. Jsou zde uvedeny jak nedostatky metodické, tak nedostatky konkrétní analýzy na kaplanově turbíně.

Výsledkem bakalářské práce bude navržení ekonomičtější údržby, při zohlednění rizika plynoucího z havarijních poruch.



2. Údržba

Pořízení technických zařízení je primárně spojeno s požadavkem na vykonávání funkce, pro kterou jsou zařízení určena. Pomocí vhodného plánu údržby lze zvýšit pohotovost těchto zařízení a tím tedy lépe využít jejich dobu užitečného technického života. Plán údržby by měl být individuálně stanoven s ohledem na provozní podmínky, typ zařízení, možné poruchy atd.

Tato kapitola je teoretickým podkladem pro analýzu zvoleného rotačního stroje (kaplanovy turbíny) a popisuje jak samotnou analýzu RCM, tak i údržbové strategie, které RCM předcházely.

2.1 *Historický vývoj údržby*

S nárůstem mechanizace a stroje se stávaly složitější, nastala potřeba řešit údržbu detailněji. S technickým vývojem rostla i možnost diagnostikovat jednotlivé poruchy. Stoupal také tlak na ekonomickou stránku údržby. Díky velkému konkurenčnímu boji se firmy snaží náklady snižovat. Historický vývoj se ve většině publikací dělí do tří generací.

2.1.1 První generace

První generace končí obdobím druhé světové války. Průmyslová mechanizace byla teprve na začátku svého rozvoje, proto se na dobu nepoužitelného stavu příliš nehledělo. Nezáleželo tak na tom, jakou dobu nebude zařízení fungovat, nebyl takový ekonomický tlak. Zařízení v této době byla velmi jednoduchá, protože technický vývoj byl ve svých počátcích. Oprava takové poruchy byla jednodušší. Ve většině případů docházelo taktéž k předimenzování jednotlivých prvků nebo dokonce celých zařízení. To mělo za následek nižší poruchovost. V tomto období se prováděla především údržba po poruše. Důvodem byla neexistence diagnostických zařízení, nižší nároky na opravu zařízení a nízký tlak na bezporuchovost zařízení. Prevencí vzniku poruch se v tomto období firmy v podstatě nezabývaly. Z uvedených skutečností plyne, že plánování údržby v tomto období skoro neexistovalo. Odborné schopnosti potřebné k odstranění poruchy a údržbě zařízení byly menší než v současné době, to ovšem vyplývá ze složitosti zařízení.



V této generaci převládal názor, že se zvyšujícím se věkem zařízení roste také jeho poruchovost. Tento názor plynul především z toho, že neexistovala diagnostická zařízení a nebylo třeba tuto oblast zkoumat.

2.1.2 Druhá generace

Druhá světová válka situaci změnila. S rostoucím válečným tlakem rostla i potřeba zboží všeho druhu, především válečného materiálu. Klesala možnost využití lidských zdrojů, stoupala potřeba mechanizace průmyslu. Ve válečných obdobích přichází většinou velký technický pokrok. Ten zažilo i toto odvětví. V padesátých letech dvacátého století výrazně přibýlo strojů různých typů s vyšší složitostí. Průmysl začal být na mechanizaci značně závislý. Protože mechanizace přinášela značnou konkurenční výhodu, začala se sledovat spolehlivost jednotlivých strojů. Tato snaha vedla k hledání způsobů předcházení poruch. Vznikaly první systémy preventivní údržby. V šedesátých letech se preventivní údržba skládala z generálních oprav, které se prováděly v pevně daných časových intervalech. Problémem bylo stanovení správných časových intervalů. Vznikaly první metody ke stanovení těchto časů. Náklady na údržbu se vzhledem k ostatním provozním nákladům začaly zvyšovat. Zvyšování nákladů vedlo k většímu tlaku na tuto oblast. To vedlo k zlepšování stávajících a hledání nových způsobů a systémů zabývajících se plánování a řízením údržby. Údržbové zásahy se začaly řídit a plánovat. V současnosti jsou tyto činnosti zavedenou součástí údržby. Množství kapitálu vynaloženého na nákup fyzického majetku spolu s prudkým nárůstem finančních prostředků, vložených do udržování tohoto majetku, vedlo vedoucí pracovníky k hledání způsobů, jakými by se dala maximalizovat životnost tohoto majetku.

S vzrůstajícím technickým pokrokem a při detailnějším pozorování se dospělo k modelu obsahující takzvané období časných poruch. Tyto informace vedly v této generaci k obecné víře ve „vanovou křivku“.



2.1.3 Třetí generace

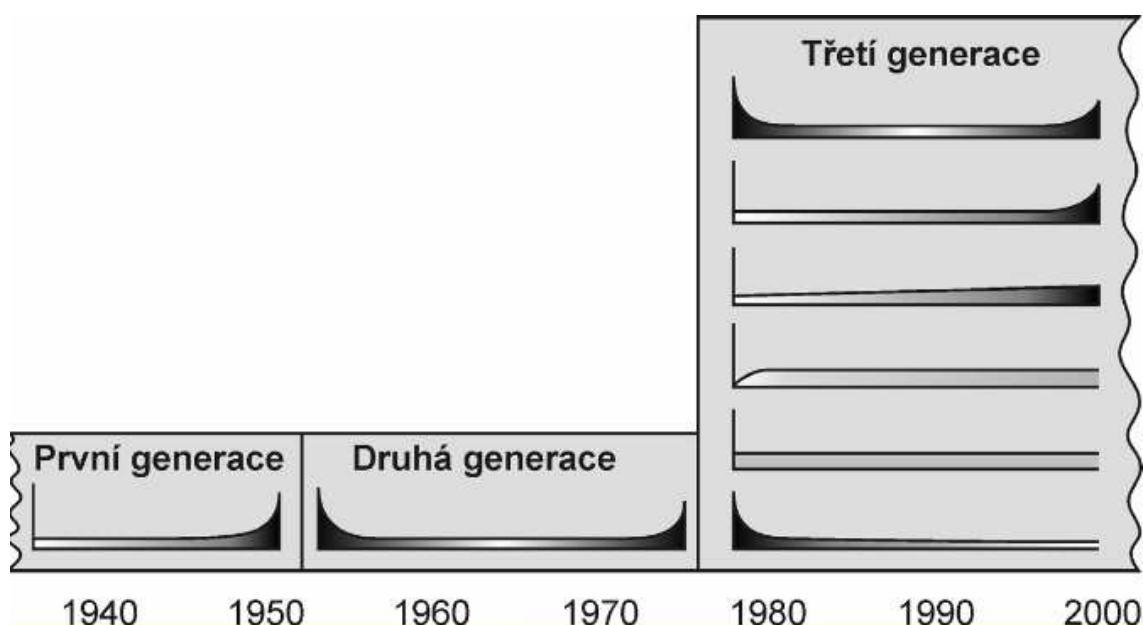
Od poloviny sedmdesátých let získal proces řízení údržby ještě větší význam. Doba použitelného stavu se dostává do středu pozornosti, protože neschopnost některých strojů plnit svou funkci znamená velké ekonomické ztráty pro celý podnik. Stoupají také možnosti odhalování závad a sledování stavu zařízení. S rostoucím technickým pokrokem se zkvalitňují diagnostická zařízení. Nepříznivé ekonomické vlivy poruchového stavu zařízení umocňuje nástup logistického principu just-in-time. Stavby zásob se obecně zmenšují, protože v zásobách má podnik vázaný kapitál, další finanční prostředky jsou spotřebovány skladováním a dalšími operacemi se zásobami. Proto i malé poruchy mohou mít velký vliv na logistické řízení podniku, potažmo na ekonomické výsledky celého podniku. V poslední době růst automatizace znamenal, že bezporuchovost a pohotovost se staly klíčovými pojmy v celé řadě velmi rozdílných průmyslových odvětví, jakými jsou např. zdravotnictví, stavebnictví, telekomunikace a jiné.

Rostoucí automatizace, složitost a provázanost jednotlivých systému sebou nesou celou řadu výhod, ale i jisté problémy týkající se poruch, které mohou mít vliv na jakost produkce a bezpečnost provozu. V současnosti se také více hlídají ekologické následky případných poruch. Současně, jak roste závislost na automatizované výrobě, rostou i náklady spojené s touto výrobou. Jedná se jak o vlastnické náklady, tak o provozní náklady. Pro zabezpečení maximální návratnosti investice je zapotřebí, aby majetek pracoval co možná nejefektivněji a co možná nejdelší dobu. S tím ovšem souvisí i náklady na údržbu, které rostou rychleji než ostatní výdaje. Podle dostupných zahraničních zdrojů se tyto náklady v průmyslových podnicích pohybují v rozmezí 6 až 10% ročního obrátu firmy. Při započtení nákladů spojených s udržováním skladových zásob a úroku z kapitálu, který je v těchto zásobách vázán dosahují náklady až 25%. S dalším nárůstem mechanizace a automatizace ve výrobě je nutno počítat s dalším růstem tohoto kapitálu.

S rostoucími ekonomickými nároky údržby došlo k určitým názorovým změnám týkající se poruchovosti a stárnutí jednotlivých strojů nebo jejich prvků. Prokazuje se, že je menší spojitost provozního stárnutí s pravděpodobností, že dané zařízení bude mít poruchu. Ve třetí generaci však ekonomický tlak na zjištění spojitosti mezi časem a



případnými poruchami vedl k podrobnějším výzkumům. Tyto výzkumy nakonec odhalily, že se v praxi nevyskytují jeden nebo dva modely poruchovosti, ale prokázalo se, že takových modelů existuje šest, což má ovšem velký vliv na vhodně zvolenou strategii údržby. Vývoj a jednotlivé typy modelů můžeme vidět na obrázku č. 1. Na tomto obrázku vidíme jak časový vývoj jednotlivých generací, tak i modely poruchovosti.



Obrázek 1 - typy modelů údržby v jednotlivých generacích

První průmyslové odvětví, které se systematicky začalo zabývat aspekty doby provozu a s ní související intenzitou poruch, bylo civilní letectví. Jako reakce na mnoho nových trendů, které jsou součástí poslední generace, byla v tomto odvětví vypracována metodika pro určení strategie údržby. Tato soustava je v letectví známa jako MSG3 a mimo toto odvětví jako „údržba zaměřená na bezporuchovost“ neboli RCM. V současnosti je tato metodika uznávanou a standardizovanou metodou.

2.2 Typy údržby

S přibývajícím složitostí jednotlivých zařízení, dalším vývojem diagnostických zařízení a všeobecnému povědomí o poruchových modelech se údržba začala dělit na jednotlivé typy.

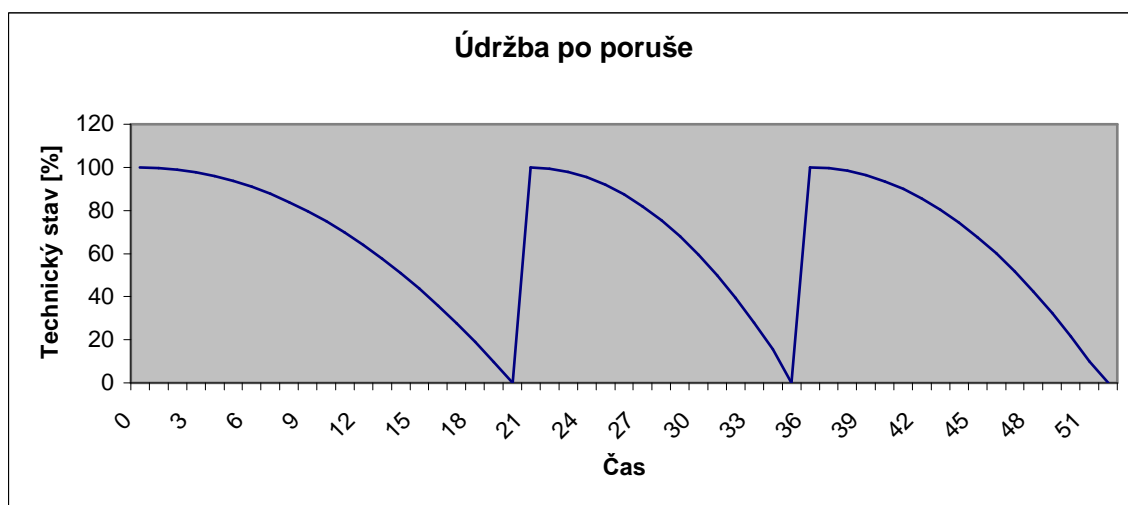


2.2.1 Korektivní údržba

Zařízení se provozuje tak dlouho, až dojde k poruše. Poté následuje jeho oprava nebo výměna za funkční kus. Toto je nejběžnější způsob údržby v průmyslu. Používá se především tam, kde existuje zastupitelnost jednotlivých zařízení. Používá se také tam, kde je pouze jeden stroj, ale tento stroj z nějakého důvodu vyrábí na sklad. Tento typ není vhodné používat u zařízení, které je zapojeno do výrobní linky nebo jeho porucha bude znamenat velké ekonomické ztráty. Není ho vhodné používat ani v místech, kde na poruchu mohou navazovat nebezpečné situace. Výhodou tohoto typu je to, že se využije celá doba životnosti prvku. Tento způsob neklade žádné nároky na diagnostiku prvku. Nevýhodou této údržby je ovšem to, že porucha často vyvolá další následky, které vedou k vyšším nákladům než samotná oprava prvku. Není možné naplánovat, kdy dojde k údržbovým zásahům. Toto vede k prodloužení doby, kdy se prvek nachází v poruchovém stavu.

Do údržby po poruše patří i tzv. havarijní údržba. Havarijní stav je závažnější, protože s tímto stavem při plánování údržby nepočítáme, nejsou proto připraveny například náhradní díly atd. Tento stav může vyvolat nebezpečné situace, se kterými nebylo v plánu vůbec počítáno.

Na obrázku č. 2 je vidět, jak probíhá údržba. Na prvku se provádí údržbový zákrok, až když technický stav dosáhne technického stavu 0, což znamená, že na zařízení nastala porucha. Čas mezi jednotlivými poruchami je různý.



Obrázek 2 - Údržba po poruše



2.2.2 Periodická údržba

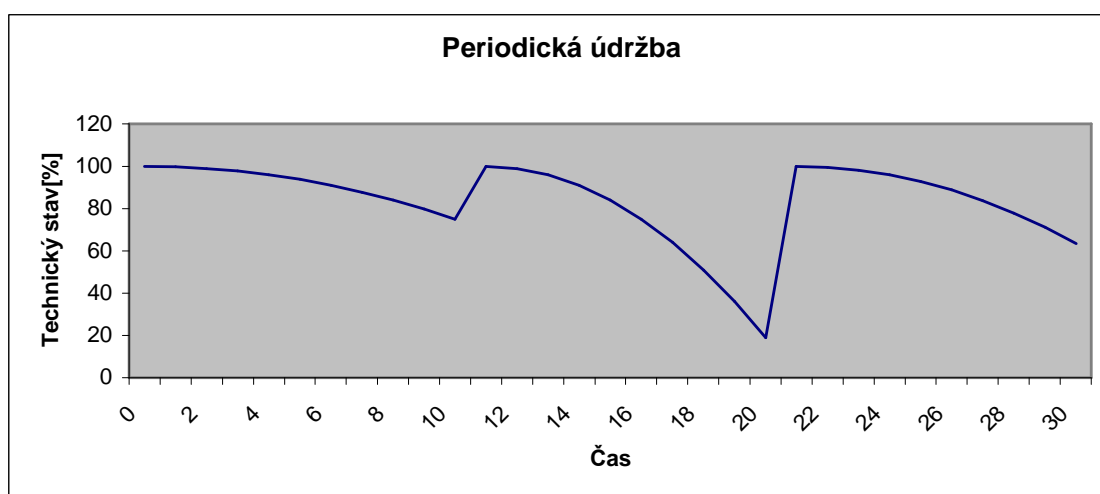
Periodická údržba se provádí na základě stanovené periody. Tato perioda může být jak časová, tak vztažená k jiné jednotce. Dalšími jednotkami mohou být například motohodiny, počet vyrobených výrobků atd. Stanovení periody se provádí na základě zkušeností z provozu, informací výrobce, případně pomocí optimalizačního výpočtu. Na zvolené periodě velmi závisí ekonomická efektivnost tohoto typu údržbového úkonu. Termíny pravidelných oprav zařízení se stanoví bez ohledu na jeho skutečný stav. Úplně nevhodná je u prvků, které mají po celou dobu svého technického života konstantní nebo klesající intenzitu poruch. Případná výměna takového prvku nemá žádný kladný vliv na jeho bezporuchovost. Lze ji doporučit v případech, kde na provedení údržbového úkonu stačí jen krátká odstávka a vlastní zásahy jsou mnohonásobně levnější než případné škody, nebo jsou náklady na zjištění současného stavu zařízení natolik vysoké, že je sledování stavu neekonomické. U některých typů zařízení (například vysokotlaké kotle, hasicích přístrojů atd.) takovou údržbu, spočívající především v inspekčních prohlídkách, nařizuje zákon, především ke snížení rizika ohrožení zdraví.

Pokud se údržba provádí na vhodném typu zařízení, zvyšuje se doba kdy je zařízení v provozuschopném stavu. Není zapotřebí provádět diagnostiku zařízení, která by zvyšovala celkové náklady. Výhodou je, že se údržbové zásahy plánují a tím klesají náklady díky snížení logistických zpoždění.



Nevýhodou tohoto typu je, že se často vyměňují i prvky, které by mohly ještě nějakou dobu bezproblémově fungovat. Naopak některé prvky se vyměňují příliš pozdě, což může mít vliv na kvalitu produkce. Pozdní výměna prvků může mít také za následek potřebu dalších údržbových zásahů.

Obrázek č. 3 popisuje periodickou údržbu, je zde vidět, že technický stav zařízení je v době údržbového zásahu různý. Čas mezi zásahy je konstantní.



Obrázek 3 - Periodická údržba

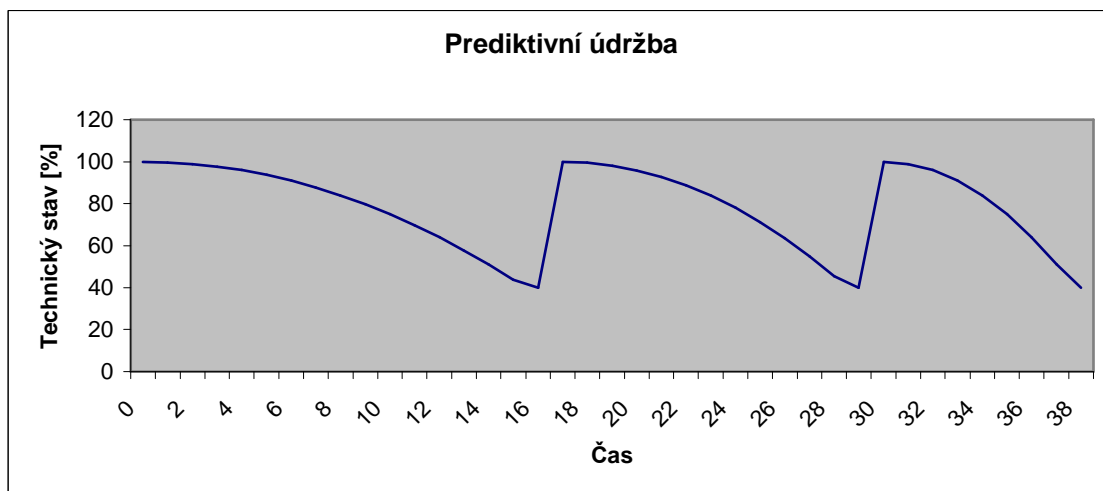


2.2.3 Prediktivní údržba

Tato technika je postavena na principu co nejpřesnějších znalostí o okamžitém stavu zařízení. Znalosti stavu lze dosáhnout systematickým sběrem informací o daném zařízení z inspekční, provozní a diagnostické činnosti. Tyto informace je potřeba získávat pravidelně a naměřená data analyzovat. Neposuzuje se pouze současný stav, ale na základě vývoje se vyhodnocuje prognóza budoucího stavu. Na základě těchto informací je možno nastavit údržbu tak, aby byla prováděna co nejefektivněji a v co nejmenším rozsahu. Údržba musí být provedena tak, aby zajistila přiměřenou bezporuchovost zařízení a kvalitu výrobků.

Výhodou tohoto typu je, že se prvky opravují pouze tehdy, pokud to vyžaduje jejich stav. K realizaci údržbových zásahů se maximálně využívají plánované výrobní prostoje. Minimalizují se tak prostoje, které by souvisely jen s údržbou. Nevýhodou tohoto typu jsou náklady na inspekci a diagnostiku. Některá zařízení ani diagnostikovat nelze nebo by případná diagnostika znamenala vysoké náklady. Shromážděná data o zařízení je třeba uchovávat a analyzovat.

Na obrázku č. 4 je znázorněna prediktivní údržba. V prediktivní údržbě záleží na stavu zařízení. Zde je nastaveno, že při 40% technickém stavu zařízení dojde k zásahu. U této údržby je žádoucí, aby zásah proběhl vždy ve stanoveném stavu. Čas mezi jednotlivými zásahy je různý.



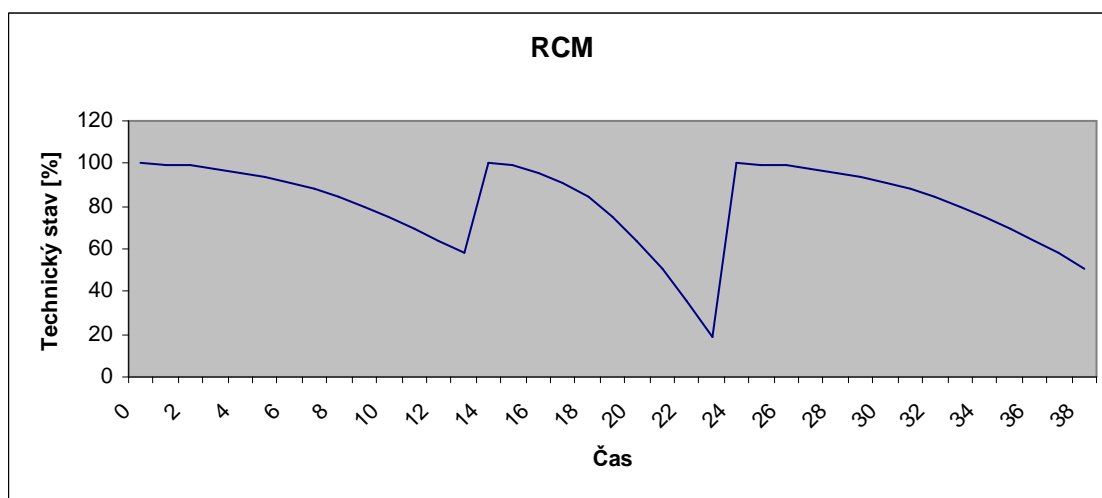
Obrázek 4 - Prediktivní údržba



2.2.4 Spolehlivostně orientovaná údržba

Spolehlivostně orientovaná údržba, na rozdíl od ostatních typů, respektuje důležitost zařízení. Rozhodující je to, jaký dopad bude případná porucha mít. Pomocí komplexní analýzy se za pomoci shromážděných dat a matematických modelů pro daný prvek (nebo skupinu prvků) stanoví optimální systém údržby tak, aby náklady na údržbu včetně rizik plynoucích z poruch byly minimální. Hlavní výhodou tohoto typu je maximální ekonomická efektivnost. Hlavní nevýhodou oproti ostatním typům je velká časová náročnost provedení analýzy a s tím související její nákladnost. Spolehlivostně orientovanou údržbu označujeme jako RCM.

Obrázek č. 5 popisuje spolehlivostně orientovanou údržbu. Je zde patrné, že při jednotlivých zásazích není konstantní ani čas, ani technický stav. Vždy záleží na ekonomických aspektech daného zásahu. Jako příklad lze uvažovat výměnu oleje. V první a třetí části je olej měněn po určitém časovém intervalu a nezáleží na stavu oleje. V prostřední části byl proveden rozbor oleje a zjistilo se, že již není vyhovující, proto se vyměnil.



Obrázek 5 - Spolehlivostně orientovaná údržba



3. Metodika RCM

Cílem spolehlivostně orientované údržby je vytvořit takovou strategii údržby, aby se minimalizovaly celkové provozní náklady při zachování nezbytné míry spolehlivosti, bezpečnosti a ohleduplnosti k životnímu prostředí provozovaných zařízení. Účelem je na základě poznatků o možných poruchách zařízení (jejich vzniku a následcích) zvolit ekonomicky nejvhodnější úkony údržby a zahrnout je do efektivního programu údržby. Skupina uvažovaných úkonů údržby je od úmyslného chodu zařízení do poruchy, přes periodickou a prediktivní údržbu. Na základě zjištěných informací se provede návrh změn jak v plánu údržby, tak provozních podmínkách. Musíme však nejprve vykonat celou řadu kroků, které jsou stručně shrnuty v následujících bodech:

1. Rozčlenit zařízení na funkčně ucelené subsystémy s jednoznačně definovanou výrobní funkcí.
2. Zpracovat seznam komponent, které jsou předmětem údržby (včetně poruchové).
3. Stanovit způsob poruchy každé komponenty. Zpravidla se uvažují 1 až 3 dominantní způsoby poruch.
4. Zhodnotit následky (ekonomické, zdravotní a bezpečnostní, ekologické) a provést jejich finanční ocenění individuálně pro každý druh selhání.
5. Provést odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu individuálně pro každý druh selhání.
6. Analyzovat jak stávající údržbu, individuálně pro každý způsob poruchy. Pro každý způsob je potřeba stanovit úkon údržby, typ údržby, možnost provedení zásahu za provozu, četnost a vykonavatele údržby. Náklady spojené s danou údržbou, povinnost údržby ze zákona.
7. Provést odhad střední doby mezi poruchami udržovaného objektu individuálně pro každý druh selhání.
8. Vyhodnotit ekonomickou efektivnost navrhované údržby individuálně pro každý druh selhání.
9. Sestavit program údržby z navržené množiny úkonů údržby s ohledem na jejich charakter formou věcného a časového plánování (bezrozpornost kapacit, termínů, návaznosti odstavení a zajištění výrobních subsystémů a zařízení).



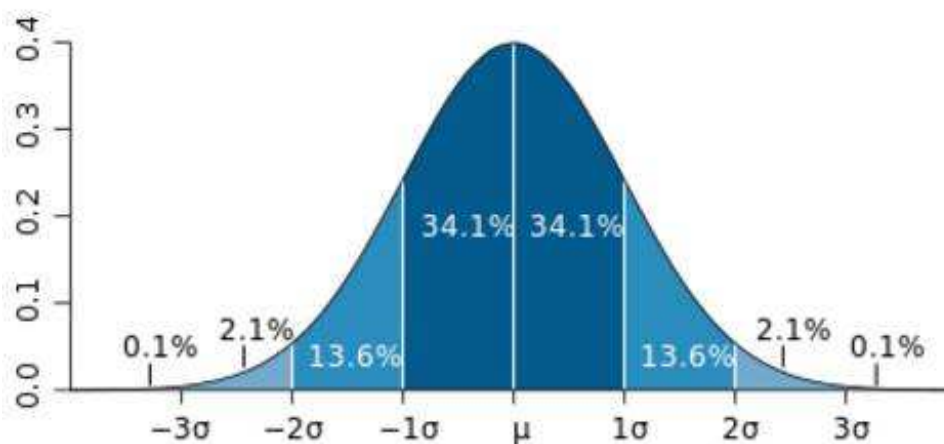
Vlastní analýza se provádí týmem, ve kterém jsou zastoupeny jednotlivé profese podílející se na provozu, údržbě a ekonomice. Tým je řízen zkušeným pracovníkem, který má zkušenosti z analýzy spolehlivosti a rizik, tzv. facilitátorem.

Výsledkem analýzy je posouzení nutnosti provedení určitého údržbového úkonu. Program údržby pak obsahuje pouze nezbytné úkoly, které jsou nutné ke splnění stanovených cílů. Je totiž dokázáno, že zbytečné zásahy spíše zhoršují bezporuchovost systému a samozřejmě zvyšují náklady spojené s údržbou.

3.1 Pravděpodobnost poruchy

Pravděpodobnost poruchy je prvním vstupem do výpočtu ročních nákladů. Pro možné zahrnutí většího počtu poruch ve zkoumaném období se obvykle nahrazuje intenzitou poruch nebo její převrácenou hodnotou - MTBF

3.1.1 Normální rozdělení



Obrázek 6 - Normální rozdělení

Normální rozdělení pravděpodobnosti s parametry μ a σ^2 pro, $-\infty < \mu < \infty$ a $\sigma^2 > 0$, je pro $-\infty < x < \infty$ definováno hustotou pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Střední hodnota je parametr rozdělení náhodné veličiny, který definujeme jako vážený průměr normálního rozdělení.

$$E(x) = \mu$$

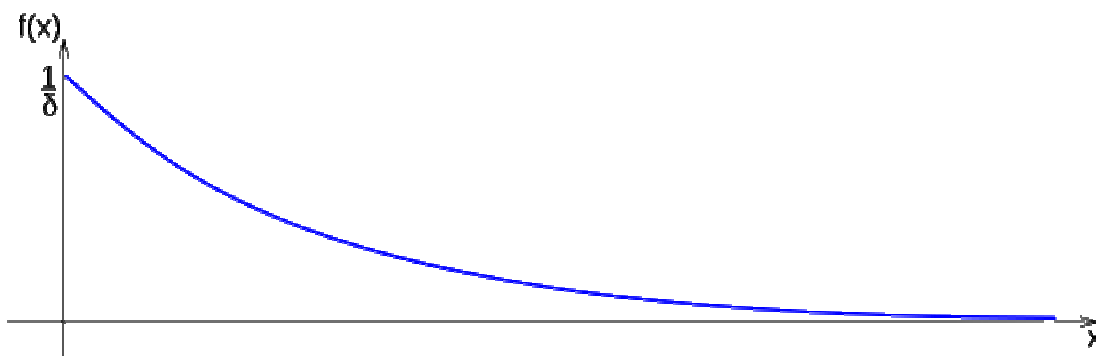


Rozptyl vyjadřuje rozložení souboru náhodných hodnot kolem její střední hodnoty.

$$D(x) = \sigma^2$$

3.1.2 Exponenciální rozdělení

Toto rozdělení se používá k vyjádření doby do poruchy, pro zařízení se stejnou intenzitou poruch v celém životním cyklu. Hodnota X značí dobu do poruchy zařízení. Pravděpodobnost, že zařízení bude pracovat bez poruchy ještě alespoň X hodin, je rovna pravděpodobnosti, že zařízení, které dosud nebylo v provozu, bude pracovat alespoň X hodin. Aplikujeme pro zařízení, u kterých není doba životnosti ovlivněna dobou provozu.



Obrázek 7 - Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti s parametrem δ , kde $\delta > 0$, je pro $x > 0$ definováno hustotou pravděpodobnosti.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x \leq 0 \\ \frac{1}{\delta} e^{-\frac{x}{\delta}} & \text{pro } x > 0 \end{cases}$$

Střední hodnota

$$E(x) = \delta$$

Rozptyl

$$\sigma^2(x) = \delta^2$$



3.1.3 Střední doba mezi poruchami

Střední doba mezi poruchami (MTBF, anglicky Mean Time Between Failures), je statistická veličina, která slouží k ohodnocení spolehlivosti výrobku nebo výrobního zařízení. Určuje se pro výrobek nebo zařízení, které se opravuje. U zařízení, které se neopravuje, se určuje střední doba do poruchy (MTTF, anglicky Mean Time to Failure). V případě výrobního zařízení se vypočte jako skutečný výrobní čas ku počtu poruch. Skutečný výrobní čas se vypočte jako rozdíl maximálního výrobního času a prostojů, tedy takových časů, kdy výrobní zařízení neprodukuje. V případě výrobku je to vypočtená hodnota, která zohledňuje statistické vyhodnocení poruchovosti výrobku a opírá se rovněž o statistické vyhodnocení MTBF jednotlivých komponentů, ze kterých je výrobek složen.

Jako jednotka MTBF a MTTF jsou obvykle zvoleny hodiny. Čím větší hodnota, tím je výrobní zařízení spolehlivější.

Spolehlivost je schopnost systému nebo součásti vykonávat požadované funkce za daných podmínek po určené časové období. Základní veličinou pro spolehlivost systému je střední doba mezi poruchami.

3.1.4 Riziko

Riziko vyjadřuje možnost, že určitá událost může mít negativní dopad na zamýšlený cíl. Tato hodnota je obvykle měřitelná s ohledem na kombinaci pravděpodobnosti vzniku události a jejích důsledků. Pojem riziko, lze použít pokud existuje alespoň jedna možnost negativního důsledku.

3.2 Rozbor zařízení

Rozbor zařízení se provádí z důvodu zjištění významných prvků každého zařízení a jejich vazeb na okolní prvky nebo na okolí celého zařízení. Při tomto rozboru také narazíme na prvky s velkým významem, kterým je potřeba se při údržbě věnovat podstatněji.



3.2.1 Hranice systému

Je potřeba stanovit přesné hranice systému, aby bylo možné jasně definovat další parametry systému, který budeme analyzovat. Systémy musí být disjunktní, aby nedocházelo při stanovování celkových nákladů k zahrnutí některých prvků duplicitně.

Dále je potřeba stanovit vlivy systému na okolí, abychom tyto vlivy mohli vzít v potaz při tvorbě analýzy. Je také třeba zvážit vliv okolí na daný systém.

3.2.2 Rozdělení na subsystemy

Nutností je systém rozdělit na menší subsystemy, abychom mohli tyto subsystemy detailněji popsat a mohli tak definovat vztahy mezi nimi. Je to také žádoucí z důvodu přesnějších dat, které lze o jednotlivých částech získat. V každém subsystemu musí být přesně definovány jeho funkce.

3.2.3 Popis funkcí

Pro potřeby analýzy musíme definovat funkce jednotlivých subsystemů. Jednotlivé funkce můžeme dělit na hlavní a vedlejší.

Hlavní funkcí se rozumí taková, pro kterou byl daný prvek nebo systém zkonstruován. (např. brzdy u auta mají hlavní funkci zastavit vozidlo). Vedlejší funkcí jsou takové funkce, které prvek má, ale nezajišťují hlavní funkci (např. brzdy u auta mohou signalizovat opotřebení). Pokud víme, jakou funkci má daný subsystem vykonávat, můžeme určit funkčně významné prvky.

Funkčně významný prvek je takový prvek, který má pro daný subsystem významnou funkci. Tato funkce může být významná jak pro daný subsystem, tak z hlediska funkce celého systému. Takovým prvkům se přikládá vysoká pozornost, protože nefunkčnost takového prvku znamená nefunkčnost celého systému případně subsystemu.

Existují tři základní funkční zapojení a porucha na významném prvku bude mít v každém jiný dopad na celý systém. Sériové zapojení znamená, že při poruše jakéhokoliv prvku bude celý systém v poruchovém stavu. Toto je nejhorší možné zapojení z hlediska spolehlivosti. Paralelní zapojení vyvolá poruchový stav systému pouze tehdy, když jsou v poruchovém stavu všechny prvky. Toto je nejlepší možné zapojení z hlediska spolehlivosti. Musíme ovšem přihlídnout k tomu, jestli jedna příčina



nemůže vyřadit celý paralelní systém. Poslední spolehlivostní zapojení - je systém m prvků z n , tzv. výběrové zapojení. Takový systém bude v provozuschopném stavu, pokud bude v provozuschopném stavu m a více prvků. Příklad může být systém tří čerpadel, který pro splnění funkce vyžaduje alespoň dvě čerpadla v provozuschopném stavu.

3.3 Poruchy a jejich způsoby

Sledovaným jevem při údržbě jsou poruchy. Proto zde objasníme některé termíny týkající se poruch, jejich členění atd. Na začátku se představí pojem porucha, aby bylo jasné co si vůbec pod tímto pojmem představit. Porucha je dle IEC ČSN 60050 (191) definována jako: „ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci“.

Způsob poruchy je důsledek, podle kterého je porucha sledována. U mechanických zařízení to bývají praskliny, trhliny, lomy atd. U elektrických zařízení zkratuje odchyluje se atd.

3.3.1 Druhy poruch

Existují různé druhy poruch. Níže je uvedeno základní rozdělení poruch podle jejich vlivu na systém, ekonomickou stránku provozu, či bezpečnost. Dalším hlediskem poruchy je její zjevnost. Zjevnost poruch dává možnost zabránit zařízení v přechodu do poruchového stavu nebo zabraňuje v poruchovém stavu setrvávat bez vědomí obsluhy. Některé poruchy nenastávají skokově, jiné se dají předpokládat ze zhoršeného nebo zhoršujícího se stavu daného zařízení.

Členění dle následků

- Porucha s dopadem na plnění hlavní funkce zařízení.

Jedná se o poruchu, při které zařízení přestává plnit svoji hlavní funkci. Většinou se jedná o poruchu s velkými ekonomickými ztrátami. Pokud zařízení pracuje v sériovém zapojení s dalšími prvky a není vyřešena záloha tohoto zařízení, tak se pro tuto poruchu dostává do poruchového stavu celý systém.



- Porucha s dopadem na plnění vedlejší funkce.

Porucha která nemá zásadní vliv na plnění hlavní funkce systému, může mít však za následek vysoká ekonomická nebo bezpečnostní rizika. Proto je potřeba důkladně zvážit, které poruchy na vedlejších funkcích můžeme při údržbě zanedbat.

- Porucha s bezpečnostními riziky

Toto jsou poruchy, které mají za následek velké ohrožení na zdraví či životě lidí. V této oblasti je potřeba brát v úvahu jak riziko jednotlivce, tak skupiny osob pohybujících se v okolí daného zařízení.

- Porucha s velkými ekonomickými následky.

Zde je třeba brát v úvahu ekonomickou stránku jak obnovy po poruše, tak i následků poruchy. Mezi následky bychom zařadili jak poškození dalších zařízení, tak ukončení činnosti daného zařízení.

- Poruchy bez následků

Tyto poruchy, nemají výraznější dopad na funkčnost daného prvku ani nezpůsobují nefunkčnost systému nebo jeho částí. Ruší však např. konečný vzhled prvku, estetiku.

Členění dle zjevnosti

- Zjevné příznaky poruch.

Jedná se o příznaky, kterých si je schopen všimnout obsluhující personál. Jako příklad může být zvýšená hladina zvuku atd. Tyto příznaky může odhalit pravidelná kontrola obsluhy. Zde je možnost povšimnout si zhoršujícího se stavu daného prvku nebo nestandardních naměřených hodnot sledovaných veličin. Příkladem může být změna teploty daného zařízení atd. V této oblasti ovšem hodně záleží na tom, v jakých intervalech je pravidelná kontrola prováděna. Mezi možnosti jak odhalit zjevné příznaky patří také specializovaná diagnostika zařízení, do této skupiny patří například měření vibrací. U některých druhů zařízení je prováděna diagnostika daného prvku v určitých pevně stanovených dobách. Při této diagnostice je možnost zjištění závad, které by následně mohly vést k poruše.

- Skryté příznaky

Některé způsoby poruch nemají žádné zjevné příznaky. Nebo jejich příznaky nelze běžně zjistit. Existuje pouze možnost matematického výpočtu doby do poruchy.



3.3.2 Příčiny poruchy

Je potřeba jasně definovat možné příčiny poruch. Jedná se o soubor skutečností, které vedou k poruše. Poruchám lze efektivněji předcházet především zaměřením se na jejich příčiny. Existuje také možnost, že jedna příčina vyvolá více poruch.

3.4 Ekonomické následky

Náklady na údržbu a poruchu jsou definovány běžnými účetními postupy. Tyto náklady tvoří důležitou část provozních nákladů ve většině průmyslových podniků.

Podle čísel z USA náklady na údržbu mezi lety 1991 a 2000 vzrostly z 800 miliard USD na 1,2 bilionu USD. Další studie ukazují, že třetina až polovina těchto prostředků na údržbu se spotřebuje neefektivními metodami řízení údržby.

3.4.1 Přímé výrobní ztráty

Jedná se o náklady spojené se zastavením výroby. Počítá se zde doba zastavení a ztráta způsobená tímto zastavením. Toto jsou náklady spojené jak s údržbou, tak stavem po poruše. V případě údržby lze někdy tyto náklady eliminovat vhodně zvolenou strategií údržby.

3.4.2 Ostatní výrobní ztráty

Toto jsou náklady vzniklé po poruše, kdy vznikne škoda na dalším zařízení nebo je snížena jeho životnost. Mohou zde být započteny i škody na polotovarech a ostatní.

3.4.3 Přímé materiálové náklady na opravu

V této oblasti jsou započteny ceny náhradních dílů a náklady související s jejich dopravou či skladováním. Je potřeba zvážit, zda je pro podnik výhodnější mít daný díl na skladu nebo je přijatelnější tento díl zajistit až v případě poruchy. Nutností je zvážit čas, za jaký je schopen dodavatel díl dodat, protože musíme započítat náklady spojené s dodací lhůtou (zastavení linky). Poté tyto náklady porovnáme s náklady na skladování daného prvku a náklady na vázaný kapitál v takovém prvku. Popřípadě je třeba zohlednit náklady spojené s likvidací vyměněných dílů. U některých druhů zařízení jsou náklady na likvidaci poměrně vysoké.



3.4.4 Náklady na personální zajištění

Náklady na pracovní sílu jsou v dnešní době poměrně vysoké a proto je zde třeba důkladně zvážit, zda je lepší mít vlastní zaměstnance nebo využívat externí firmu. Toto je spojeno s velikostí daného podniku a efektivností práce. V této skupině nákladů se započítávají náklady na zaměstnance, kteří jsou přímo spojeni s odstraněním poruchového stavu nebo údržby zařízení. Popřípadě je třeba sečíst obě skupiny nákladů jak na vlastní zaměstnance, tak na externí.

Do této skupiny patří i náklady na pracovníky v jiných oblastech, kteří mají s odstraňováním poruchy zvýšenou pracovní činnost. Jedná se například o proplácení přesčasových hodin atd.

3.4.5 Ostatní náklady na opravy

Jedná se o náklady na další vedlejší činnosti spojené s poruchou např. telefonování, cestovní náklady a jiné. Tyto drobné náklady se většinou z časových důvodů do analýzy nezahrnují.

3.5 Zdravotní a bezpečností následky

Jedná se o škody (např. úmrtí, bolest, šok, změna kvality a délky života), které jsou z důvodů obtížné vyčíslitelné v peněžních jednotkách. Je zde také nutnost ohodnocení bezpečnostních rizik v důsledku požáru, výbuchu, otravy či jiné události, která by mohla zasáhnout více osob a tyto následky je třeba finančně ohodnotit.

3.6 Environmentální následky

Tyto následky se týkají poškození životního prostředí. Jejich velikost vyčíslujeme podle rozsahu zasažení životního prostředí vyjádřené finančním ohodnocením. Při finančním vyčíslení nákladů se vychází jak ze známých ekonomických dat, tak i z odborného úsudku vedoucího pracovníka nebo odborníka na danou oblast ze společnosti, ve které je analýza vykonávána. V dnešní době je na tyto následky kladen důraz, protože ochrana životního prostředí je důležitou součástí moderního života a podniku by v případě velké ekologické škody hrozily jak sankce, tak i jistý marketingový problém.



3.7 Hodnocení údržby

Při hodnocení efektivnosti vynakládání nákladů na údržbu se provede popis stávající údržby a rozhoduje se, zda lze údržbu zefektivnit. Při stanovování výše nákladů na údržbu se postupuje obdobně jako při stanovování nákladů spojených s poruchou.

Podle provedených studií se u většiny typů zařízení neprokázala přímá souvislost mezi věkem a stavem daného zařízení. Z toho vyplývá, že preventivní údržba může být velmi neefektivní. Proto v posledních letech roste tlak na zefektivnění procesu údržby z ekonomických důvodů.

Protože vytváření programu údržby je při aplikaci RCM založeno na ekonomické efektivnosti, vede tato skutečnost k přesunu úkonů údržby z plánovaných odstávek do údržby prováděné za provozu zařízení. Důvodem je zvýšení pohotovosti zařízení vlivem kratší doby, po kterou je zařízení mimo provoz. Přesun údržby je pochopitelně možný a ekonomický pouze u zařízení, které při odstavení nevytváří výrobní ztráty.

Značný přínos aplikace RCM spočívá i v možnosti efektivního sestavení programu údržby. Analýza funkcí výrobního zařízení, jeho dělení na významné prvky a následná analýza údržby provedená pro každou komponentu (resp. pro každý druh poruchy) přináší systematičnost do tvorby plánů údržby od mazacích plánů až po plány koordinace údržbových prací při odstávkách výrobního zařízení (termíny odstavení, návaznost odstavení apod.).

Přístup založený na riziku tak vede k odklonu od tradičních programů údržby, kde dominovala údržba prováděná na základě časového plánu (v intervalech doporučených výrobcem) k efektivnějším metodám údržby, kde pro údržbu je rozhodující stav zařízení a následky jeho poruch.



Princip hledání ekonomicky optimálních úkonů údržby pro program údržby je založen na hodnocení indexu efektivnosti údržby podle:

$$I = \frac{R_{NO} - R_{UO}}{N_{PU}} = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}}$$

I	index efektivnosti údržby
R _{NO}	riziko neudržovaného objektu
R _{UO}	riziko udržovaného objektu
N _F	následky poruchy ve finančním ocenění
N _{PU}	náklady na preventivní a prediktivní údržbu
MTBF _{NO}	střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu
MTBF _{UO}	střední doba mezi poruchami udržovaného objektu

Aby údržba byla nákladově efektivní, musí být index efektivnosti údržby větší než 1. Při dosažených výsledcích blízkých hodnotě 1 se běžně preferuje běh do poruchy, protože bývá s pohledu administrativy a plánování jednodušší. Výsledkem je index, který udává kolika násobně se vložené finanční prostředky do údržby zhodnotí ve snížení rizika. Znamená to tedy, že čím vyšší je index, tím je efektivnější údržba. Pro výpočet indexu efektivnosti údržby je třeba znát pouze 4 parametry, z nichž střední doby mezi poruchami jsou zpravidla expertními odhady. Náklady spojené s následky poruchy a náklady na údržbu jsou předmětem detailního ekonomického rozboru.



4. Analýza RCM na kaplanově turbíně

Pro analýzu RCM byla vybrána kaplanova turbína záměrně, protože se jedná o velký rotační stroj, jak je udáno v zadání. Dalším důvodem bylo, že v blízkosti mého bydliště existuje malá vodní elektrárna, která tuto turbínu využívá pro výrobu elektrické energie a bylo možno zde získat potřebná data k provedení analýzy. Nejprve představíme vodní elektrárnu a její principy. V další části se budeme věnovat rozdělení turbíny na významné prvky. Popsány budou poruchy na těchto prvcích. Další část bude věnována ekonomickému vyčíslení poruch a údržby. V předposlední části budou vypočítány indexy efektivnosti údržby a poslední část bude věnována změnám v údržbě.

4.1 Základní popis vodní elektrárny

I když nejsou v České republice ideální podmínky pro budování vodních elektráren, tak jsou u nás jedničkou mezi elektrárnami na obnovitelné zdroje energie. Významným posláním vodních elektráren je vykrývání špiček spotřeby elektrické energie. Vodní elektrárna je výrobní elektrická energie, která přeměňuje potenciální energii vody na elektrickou energii. Skládá se z přehradní hráze nebo jezu, která zadržuje vodu, a strojovny obsahující vodní turbíny a alternátory. Turbíny s alternátory tvoří vždy soustrojí umístěné většinou na společné hřídeli. Pro práci byla vybrána elektrárna ze skupiny malých vodních elektráren (do 10MW včetně), která je provozována v Tanvaldě. Tanvaldská elektrárna byla zrekonstruována v roce 1956 a tato podoba byla zachována dodnes. Jsou v ní umístěny dvě kaplanovy turbíny. Dále se budeme věnovat pouze soustrojí do kterého přitéká voda z řeky Kamenice. Zadržená voda jezem je odváděna do vtokového objektu, který je umístěn na levém břehu řeky. V betonové nábrežní zdi jsou namontovány hrubé česle, za nimi je umístěno hlavní stavidlo. Voda je přiváděna rozšiřujícím se kanálem, z části zakrytým (z důvodu snížení průtokové rychlosti vody), k jemným česlům, před kterými je umístěno jalové stavidlo s lapačem písku (pro vyčištění drobných nečistot a odvodu vody zpět do řeky). Jemné česle jsou osazeny automatickým čistícím strojem. Za česlemi je umístěno stavidlo, které uzavírá přívod vody do ocelového tlakového potrubí pro turbínu. Po průtoku vody turbínou je voda odváděna kolenovou savkou do odpadního kanálu, který je zaústěn

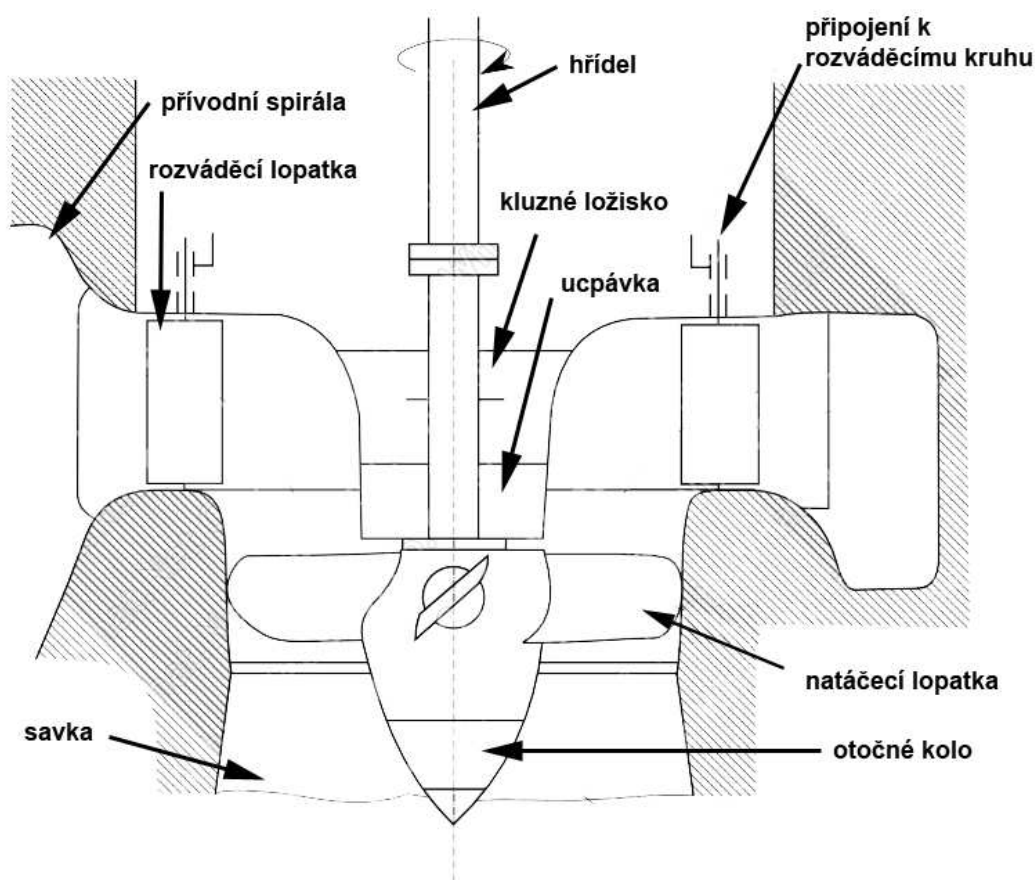


zpět do řeky Kamenice. Jedná se o průtočnou elektrárnu (bez akumulace), která využívá protékající vodu až do plné hltlosti turbíny, na kterou je dimenzována. Zbytek průtoku přetéká přes jez a tato energie zůstává nevyužita. Tanvaldské soustrojí pracuje v základní části diagramu denního elektrického zatížení (pracuje nepřetržitě pokud to dovolí stav vody), nejedná se proto o elektrárnu zajišťující vykryvání špiček spotřeby elektrické energie.

4.2 Popis kaplanovy turbíny

Kaplanova turbína je přetlaková axiální turbína s velmi dobrou možností regulace. Toho se využívá především v místech, kde není možné zajistit stálý průtok nebo spád. Používá se pro spády od 1 do 70 m a průtoky 0,15 až několika desítek m^3/s . Obecně se dá říct, že se používá především na malých spádech při velkých průtocích, které nejsou konstantní. V závislosti na rozdílu hladin může být instalována buď se svislou, nebo s vodorovnou osou otáčení. V Tanvaldě jsou nainstalovány se svislou osou otáčení. Výhodou kaplanových turbín je malá stavební výška, možnost instalace do malých strojoven u jezových elektráren. Nevýhodou je značná mechanická složitost a s tím spojená vysoká cena a vysoké nároky na údržbu. Výkon vodních turbín závisí na váhovém množství protékající vody Q_y , na spádu H a na celkové účinnosti n . Účinnost Kaplanovy turbíny dosahuje až 93%. Je výhodné, že při proměnlivém průtočném množství vody se v širokém rozsahu nemění. Typické pro konstrukci turbín jsou velké rozměry, nejsou výjimkou průměry přes 10 m a váhy přes 100 tun.

Ve strojovně tanvaldské elektrárny je umístěna malá kaplanova turbína o spádu 15 m a hltlosti $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, kde na společné hřídeli je generátor o výkonu 420 kVA, při 50 Hz, budič generátoru a servopohon pro ovládání lopatek oběžného kola turbíny. Váha samotné turbíny je cca 5 tun. Průměr oběžného kola je 761 mm. Otáčky tanvaldské turbíny jsou 750 ot/min. Jednotlivé části turbíny (zobrazuje obrázek č. 8), jsou popsány dále.



Obrázek 8 - Schéma kaplanovy turbíny

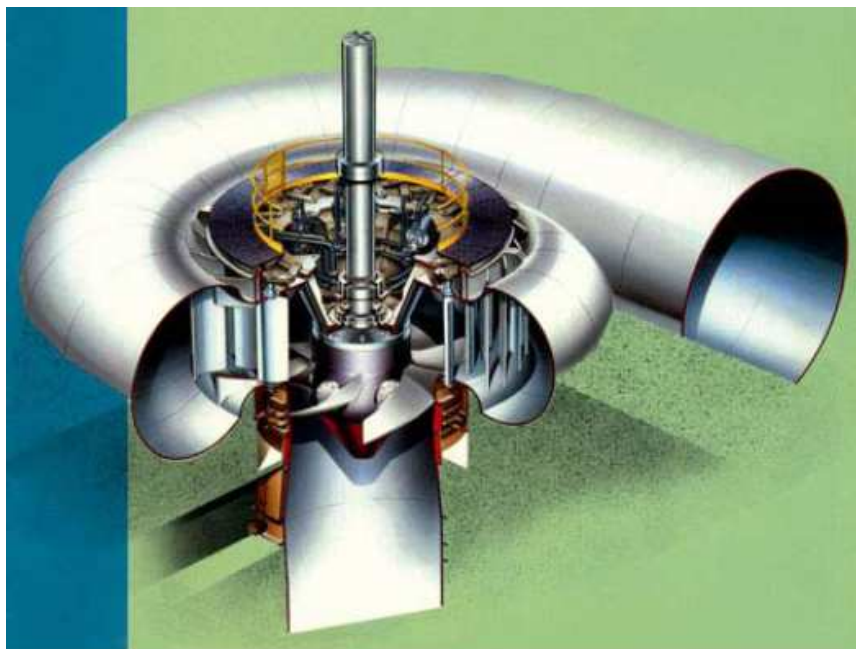
4.3 Významné subsystémy a jejich funkce

Pro potřeby analýzy se musí turbína rozdělit na menší subsystémy a jednotlivé prvky. Vybrány byly důležité prvky, které jsou součástí údržby a mají důležitý význam z hlediska funkčnosti celého zařízení.

4.3.1 Spirála a rozváděcí lopatky

Toto zařízení slouží k přívodu vody k oběžnému kolu. Mění se zde tlaková energie vody na kinetickou energii. Jednotlivé rozváděcí lopatky lze natáčet tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného průtoku vody k oběžnému kolu. Spirála má šnekovitý tvar, aby byl zajištěn konstantní tlak vody v celé délce spirály. K ovládání rozváděcích lopatek slouží rozváděcí kruh, který natáčí všechny lopatky současně. Natočením rozváděcích lopatek se současně natočí lopatky oběžného kola. Spirála a rozváděcí

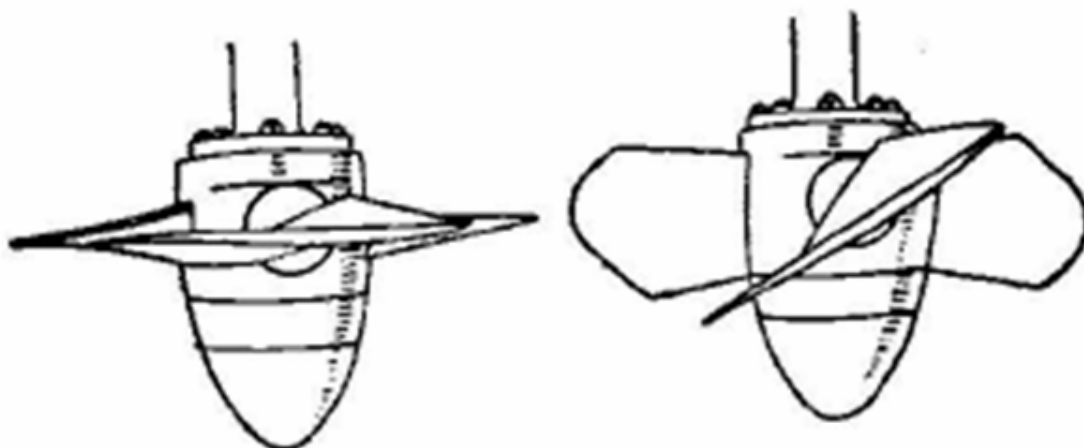
lopatky jsou odlity z litiny. Obrázek č. 9 znázorňuje spirálu a rozváděcí lopatky. Je zde možno povšimnout si, jak k sobě jednotlivé klapky přiléhají a jak se spirála zužuje.



Obrázek 9 - spirála

4.3.2 Oběžné kolo

Kaplanova turbína se umísťuje převážně tak, aby oběžné kolo bylo nad úrovní dolní maximální hladiny v odpadním kanále. Oběžné kolo je umístěno v nejužším průřezu celého stroje, kde je rychlost proudění vody nejvyšší. Plášť stroje je v tomto místě mírně kulovitě vyklenutý, aby dovozoval změnu sklonu lopatek oběžného kola bez toho, že by se zachytily o stěnu. Jejich zakřivení je voleno tak, aby se mezilopátkové kanály ve směru proudění zužovaly. Voda, která jimi proudí, musí zvyšovat rychlost a měnit směr. Tím vzniká na lopatky reakční síla uvádějící oběžné kolo do pohybu. Voda opouští oběžné kolo s poměrně značnou kinetickou energií. Tu však následně využívá savka. Turbína musí být vždy současně regulována rozváděcími lopatkami i sklonem lopatek oběžného kola tak, aby bylo proudění vody na výstupu z oběžného kola rovnoběžné s hřídelem. Možnosti natočení zobrazuje obrázek č. 10.



Obrázek 10 - Natočení lopatek oběžného kola

4.3.3 Savka

Výstupní voda z turbíny je odváděna kolenovou savkou. Rychlost proudící vody transformuje savka na zápornou tlakovou energii, která podporuje průtok vody strojem. Savka se směrem dolů rozšiřuje a plynule přechází do odváděcího kanálu. Vyústění ze savky musí být trvale pod minimální hladinou kanálu, aby tak nemohlo dojít ke ztrátě záporné tlakové energie a byl tak maximálně využit rozdíl hladin mezi hladinou koruny jezu a hladinou v odpadním kanále.

4.4 Popis významných prvků

V této kapitole rozebereme jednotlivé významné prvky, které jsou důležité pro splnění hlavní funkce systému a zároveň jsou takovými prvky, které jsou i častým zdrojem poruch (relativně k ostatním komponentám). Popíšeme jednotlivé funkce prvků a jejich provázanost s okolními prvky. Těmto prvkům se budeme nadále věnovat pro jejich význam.

Spirála a rozváděcí lopatky

Součástí spirály je 16 rozváděcích lopatek. Součástí každé lopaty je nalisovaný čep, dvě kluzná ložiska, těsnící manžeta a maznice. Ve dvou kluzných ložiscích je veden čep, který otáčí s lopatkou. Pod horním ložiskem je těsnící manžeta bránící uniknutí vody. Maznice zajišťují mazání třecích ploch mezi čepem a kluznými ložisky a přimazávají horní manžetu. Čep je spojen táhlem s regulačním kruhem, tento kruh slouží k ovládání lopatek.



Oběžné kolo

Oběžné kolo se skládá z 5 lopat, které jsou otočně uloženy v bronzových pouzdrech. K jejich nastavení slouží servomotor, se kterým jsou spojeny vnitřkem hřídele turbíny. Jednotlivé lopaty jsou vyrobeny z legované ocelolitiny, a tak jsou dobře odolné proti korozi a kavitaci. Kavitace je vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku následované jejich implozí. Při vymizení podtlaku, který kavitaci způsobil, bublina kolabuje a vznikne rázová vlna, která má destruktivní účinek na okolní materiál.

Proti vnějšímu tlaku vody jsou čepy lopat utěsněny stříškovými manžetami. Náboj oběžného kola je naplněn olejem tak, aby jeho součásti byly konzervovány a kluzné plochy mazány. Náboj oběžného kola unáší hřídel turbíny, která je přes spojku spojena s hřídelí generátoru.

Ucpávka

Další součástí je uhlíková ucpávka, která je umístěna na vyměnitelném pouzdře hřídele ve spodní části turbínového víka a zamezuje pronikání vody kolem hřídele. Ucpávka je tvořena třemi řadami dělených uhlíkových kroužků, které jsou pružinami dotlačovány na pouzdro hřídele. Z prostoru ucpávky je pronikající voda odváděna odsávacím potrubím do prostoru savky. Potřebný sací tlak je vytvořen podtlakem v savce.

Ložisko

Poslední analyzovanou částí je vodící ložisko hřídele, které se nachází nad uhlíkovou ucpávkou. Těleso ložiska je vylito kompozicí. Pod ložiskem je na hřídeli rotační olejová nádoba, v níž je olej pro mazání ložiska. Teplota oleje je hlídána kontaktním teploměrem.

4.5 Popis způsobů poruch na významných prvcích

Poruchy na spirále a rozváděcích lopatkách

- Porucha na spirále

Tato porucha by mohla nastat jedině abrazí¹ písku. Tento způsob poškození není pro toto konkrétní zařízení dominantní, protože síla stěny spirály je již od výroby předimenzována vzhledem k celkové životnosti zařízení.

¹ Abrazie: Mechanické obrušování povrchu třením a nárazy horninových částic, které se dostaly do pohybu vlněním vody nebo jsou unášeny tekoucí vodou, větrem nebo ledem.



- Prasknutí propojovacího táhla – může nastat při vniknutí cizího tělesa mezi rozváděcí lopatky.
- Opotřebení čepů, pouzder a těsnících manžet rozváděcích lopatek – nastává mechanickým opotřebením (třením kluzných ploch čepu a pouzdra).

Poruchy na oběžném kole

- Únik oleje z náboje oběžného kola – může nastat v případě poškození třecích ploch čepů a gumových manžet.
- Opotřebení ucpávky a pouzdra – nastává třením mezi pouzdrem a segmenty uhlíkové ucpávky.
- Poškození ložiska zvýšeným třením.

K tomu může docházet z důvodu nedostatečného množství oleje nebo jeho znehodnocením. K znehodnocení oleje může dojít smícháním vody s mazacím olejem (vytvoří se emulze). Toto je hlídáno kontaktním teploměrem, který dává impuls k odstavení soustrojí. Tvoření emulze si může všimnout také obsluha přes proudoznak.

4.6 Popis následků poruch na významných prvcích

Spirála a rozváděcí lopatky

Při poškození více táhel dojde ke ztrátě možnosti regulace, to znamená snížení výkonu soustrojí. Zároveň je zde nebezpečí zvýšeného tlaku vody na ucpávku. V případě nežádoucího odpojení soustrojí z elektrické sítě a při poškozených táhlech rozváděcích lopatek není zamezeno přívodu vody na lopatky oběžného kola. Tím dojde k nadměrnému zvýšení otáček a soustrojí je zabrzděno brzdami (brzdy jsou zde jako bezpečnostní prvek).

Při nadměrném poškození třecích ploch čepů a pouzder dojde k poškození těsnících manžet, následkem je zhoršená možnost regulace. Při poškození těsnících manžet dochází k průniku vody do prostoru turbíny. Dochází ke korozi jednotlivých částí turbíny. Hrozí zde také nebezpečí úrazu (uklouznutím). Dalším nebezpečím při poškození manžety je únik mazacího tuku do vody, z tohoto důvodu musí být kluzná ložiska mazána ekologicky nezávadným mazivem.

**Oběžné kolo**

Následkem poškození těsnících manžet dojde k úniku oleje do vody a zároveň vniknutí vody do náboje. Při ztrátě oleje z náboje kola dojde k odstavení soustrojí. Impuls k odstavení dává hladinoměr, který hlídá množství zásobního oleje pro servopohon. Při této poruše dojde také k ekologické škodě, protože zmíněný olej není ekologicky odbouratelný.

Při opotřebení ucpávky a jejího pouzdra dojde k průniku vody do prostor pod spodní ložisko. Při větším průniku vody, než je možno odvést odsávacím potrubím, dojde k vniknutí vody do nádrže pro olej spodního vodícího ložiska. V důsledku nedostatku nebo špatné kvality oleje dochází k poškození ložiska třením. Při častějších závadách dochází k postupnému zvětšování vůle, což má za následek potřebu opravy (nové vylití kompozicí a její opracování). Při zvětšení vůle dochází k vibracím, které mají negativní vliv na soustrojí.

Tabulka 1 - popis poruch

Název zařízení	Funkce	Příčina poruchy	Způsob poruchy	Důsledek poruchy
Propojovací táhlo	regulace	vniknutí cizího tělesa	zaseknutí	snížení výkonu
Rozváděcí lopatka	regulace	tření kluzných ploch	zadření	snížení výkonu
Náboj oběžného kola	roztáčení hřídele	poškození manžety	netěsnost	únik oleje do vody
Náboj oběžného kola	roztáčení hřídele	poškození manžety	netěsnost	poškození zařízení
Ucpávka	těsnění	tření kluzných ploch	netěsnost	netěsnost zařízení
Ložisko	vede hřídel	vniknutí vody do oleje	zadření	poškození ložiska
Ložisko	vede hřídel	nedostatek oleje	zadření	poškození ložiska



4.7 Analýza stávající údržby

Stávající běžnou provozní údržbu provádí strojník soustrojí, který je zaměstnancem společnosti provozující zařízení. Na zařízení je nepřetržitá obsluha provádějící veškeré běžné činnosti, hlavní činností obsluhy je ovšem práce rozvodného. Důležitými činnostmi pro bezporuchovost daného zařízení jsou provozní obsluha, kontrola a údržba. Tyto úkony spočívají v čištění česlí, manipulaci se stavidly, připojování soustrojí k síti a sledování hodinové výroby elektrické energie.

Běžná provozní kontrola se provádí jednou za hodinu a trvá cca 9 minut. Součástí běžné provozní kontroly je sledování množství a teploty olejů u jednotlivých ložisek. V případě zjištění závad obsluha tyto drobné nedostatky odstraní. Mezi drobné nedostatky patří i prasknutí propojovacího táhla. Propojovací táhlo k rozváděcím lopatkám je běžně na skladu. Při výměně táhla se stroj musí zastavit.

Mazání čepů rozváděcích lopatek se provádí jednou týdně a to ekologicky nezávadným tukem. Tento den se také tímto tukem přimazává ucpávka. Celková doba mazání je cca 2,5 hodiny a je namazáno 17 prvků. Spotřeba tuku na celkové namazání soustrojí je v dlouhodobém průměru 0,34 kg.

Přibližně jednou za týden se také dolévá olej ke kluznému ložisku. Na to je potřeba cca 0,5 litrů oleje, přičemž doba tohoto úkonu je cca 20 minut. Přibližně jednou za 2 měsíce vznikne emulze vody a oleje a je potřeba vyměnit celou olejovou náplň. K výměně celé náplně jsou potřeba 3 litry oleje, 1,5 hodiny práce a odstavení zařízení.

Jednou za dva roky se provádí pravidelná generální revize. Tato revize probíhá v letních měsících z důvodu nízkého průtoku vody a tím pádem i nižších výrobních ztrát při odstaveném zařízení. Délka revize je 6 týdnů. Zařízení je odstaveno, je vypuštěn příváděcí kanál a tlakové potrubí. Stavidla se zajistí proti nedovolené manipulaci vypnutím elektrické energie. Zařízení musí být po celou dobu revize bez vody, aby nebyla ohrožena bezpečnost osob provádějící revizi. Soustrojí je z důvodu podrobné inspekce stavu zařízení demontováno na jednotlivé díly. Provádí se očištění jednotlivých dílů, kontrola vůlí všech pohyblivých částí včetně přeměření vůlí ložisek. Kontroluje se těsnost náboje oběžného kola, toto se provádí tlakovou zkouškou. Jednotlivé rozebrané díly včetně spirály turbíny se zbaví koroze a znovu natřou ochranným nátěrem. Při revizi se provádí zápis o poškození jednotlivých částí stroje.



Poškozené díly se vymění, některé díly se připraví na výměnu při další pravidelné revizi.

Tabulka 2 - analýza údržby

Prvek	Typ úkonu	Popis úkonu	Interval	Doba úkonu	Střední doba výměny
Propojovací táhlo	CM	revize	2 roky	6 týdnů	20 let
Rozváděcí lopatka	TBT	mazání	7 dní	0,15 h	
Rozváděcí lopatka	CM	revize	2 roky	6 týdnů	20 let
Manžeta ob.	CM	revize	2 roky	6 týdnů	4 roky
Ucpávka	TBT	mazání	7dní	0,15 h	
Ucpávka	CM	revize	2 roky	6 týdnů	10 let
Ložisko	TBT	kontrola oleje	1 h	0,15 h	
Ložisko	CM	dolití oleje	7 dní	0,3 h	
Ložisko	RTF	výměna oleje	60 dní	1,5 h	
Ložisko	CM	revize	2 roky	6 týdnů	4 roky

Zkratky použité v tabulce: CM (Condition Monitoring) sledování stavu zařízení

TBT (Time Based Task) časově plánovaná údržba

RTF (Run To Failure) údržba po poruše

4.8 Doba do poruchy

Doba do poruchy jednotlivých zařízení byla stanovena expertním odhadem pracovníka tanvaldské elektrárny. Jak je vidět poruchy na zařízení nastávají v dlouhých intervalech. Některé poruchy byly zaznamenány pouze jednou za celou existenci elektrárny.

Tabulka 3 - doba do poruchy

Prvek	Bez údržby	S údržbou
Propojovací táhlo	2 let	10 let
Rozváděcí lopatka	2 rok	40 let
Manžeta ob.	6 let	30 let
Ucpávka	1 měsíc	40 let
Ložisko	1 měsíc	4 let



4.9 Vyhodnocení ekonomické efektivity údržby

4.9.1 Vstupní data

Přímé výrobní ztráty

Ztráta způsobená zastavením výroby během roku byla vypočítána z průměrné roční výroby elektrické energie 486 MWh a výkupní ceny 2350 Kč za MWh. Pro výpočet bylo uvažováno, že je zařízení v nepřetržitém provozu celý rok tzn. 8760 hodin. Výsledná provozní ztráta je 130 Kč/h.

Ztráta způsobená zastavením výroby v letních měsících, kdy se provádí revize, byla vyčíslena z průměrné výroby v těchto měsících. Výroba je nižší z důvodu nízkého průtoku vody. Pro výpočet byla použita průměrná hodinová výroba elektrické energie v těchto měsících 0,045 MWh, což znamená ztrátu 105 Kč/h.

Přímé materiálové náklady

Při získávání cen náhradních dílů byly osloveny firmy zabývající se odléváním výrobků z šedé litiny. Každý díl je třeba individuálně odlít, jedná se o kusovou výrobu. V případě kluzného ložiska byla kontaktována firma zabývající se vyléváním a opracováním kompozice v ložisku. Ceny těsnění, olejů a mazacích prostředků byly získány srovnáním nabídek společností působících na českém trhu. Všechny získané ceny byly konzultovány s p. Medlíkem, aby bylo ověřeno, zda skutečně odpovídají realitě, případně byly upraveny.

Tabulka 4 - ceny dílů

Prvek	Cena	Doba výměny
Propojovací táhlo	200 Kč	1,5 h
Rozváděcí lopatka	1 250 Kč	30 dní
Manžeta ob	1 000 Kč	30 dní
Ucpávka	18 000 Kč	3 dny
Ložisko	21 000 Kč	10 dní
Olej	250 Kč/l	
Mazací tuk	222 Kč/kg	

Náklady na personální zajištění

Náklady na pracovníky jsou vypočítány podle údajů ČSÚ. Jedná se o regionální statistiku ceny práce. Tato statistika byla vypracována pro Liberecký kraj. Statistika je ze čtvrtého čtvrtletí roku 2009. Vybrány byly dvě kategorie zaměstnanců: Ostatní



mechanici a opraváři strojů a zařízení a Obsluha zařízení při výrobě a rozvodu elektřiny. V první kategorii pracuje 366 a v druhé 38 zaměstnanců. Průměrná hrubá hodinová mzda první skupiny je 145,91 Kč, druhé 136,95 Kč. Při použití váženého průměru a zaokrouhlení budeme v práci dále uvažovat 145 Kč hrubé mzdy za hodinu práce. Při výpočtu nákladů na zaměstnance použijeme hodinovou superhrubou mzdu, která činí 196Kč.

Ostatní náklady na údržbu

Ostatní náklady na pravidelnou údržbu byly vyčísleny na 20 000 Kč při pravidelné revizi a 30 000 Kč při poruše, která znamená demontáž celé turbíny. Při poruše ložiska a ucpávky byly stanoveny ostatní náklady na 10 000 Kč. V této oblasti jsou započteny náklady na telefon, náklady spojené s objednáním zboží, drobný spotřební materiál, čisticí prostředky a jejich ekologická likvidace atd. Tyto hodnoty byly opět konzultovány s p. Medlíkem z tanvaldské elektrárny.

4.9.2 Výpočet indexu efektivnosti údržby

Pravidelná revize a demontáž turbíny

Vyčíslení pravidelné revize se skládá: ze zastavení výroby (v tomto případě na šest týdnů, při ceně 105 Kč/h), nákladů na personál (pracují tři pracovníci po dobu 240 h) a ostatních nákladů. Výsledná částka je podělena dvěma, protože revize se provádí jednou za dva roky. Celkové náklady revize jsou rovnoměrně rozděleny mezi jednotlivé prvky. K tomuto rozdělení vedl nedostatek konkrétnějších informací o revizi. Náklady revize na jeden prvek jsou 26 696 Kč.

Náklady poruchy, která znamená demontáž turbíny vychází z předpokladu zastavení výroby zhruba na 28 dní a potřebě dvou pracovníků k odstranění poruchového stavu. Připočítány jsou také ostatní náklady vzniklé při demontáži.

Tabulka 5 - revize a demontáž turbíny

	Zastavení výroby	Náklady na personál	Ostatní náklady	Celkem
pravidelná revize	105 840 Kč	141 120 Kč	20 000 Kč	266 960 Kč
demontáž	93 600 Kč	62 720 Kč	30 000 Kč	186 320 Kč



Ložisko

Vyčíslení pravidelné údržby ložiska skládající se z dolévání oleje a jeho výměny, kdy k dolití je potřeba 0,5 litru a k výměně 3 litry. Při výměně oleje musí dojít k zastavení soustrojí a proto je zde připočítána výrobní ztráta. K ceně pravidelné revize byly připočítány náklady na ložisko, které je potřeba jednou za 4 roky vyměnit.

Tabulka 6 - pravidelná údržba ložiska

Úkon	Interval	Doba úkonu	Náklady na personál	Náklady na materiál	Celkem
dolévání oleje	7 dní	0,3 h	58,8 Kč	125 Kč	9 558 Kč
výměna oleje	2 měsíce	1,5 h	294 Kč	750 Kč	7 434 Kč
kontrola stavu	1 hodina	0,15 h	29,4 Kč	0 Kč	257 544 Kč
revize	2 roky			5 250 Kč	31 946 Kč
celkem					306 482 Kč

Pro vyčíslení následků poruchy bereme v úvahu zastavení stroje na 10 dní, cenu ložiska, spotřebovaného oleje, zaměstnanců a ostatních nákladů.

Tabulka 7 - porucha ložiska

	Zastavení výroby	Náklady na personál	Materiál	Ostatní náklady	Celkem
porucha ložiska	31 200 Kč	15 680 Kč	21 750 Kč	10 000 Kč	78 630 Kč

Pro výpočet indexu efektivnosti jsou použita ekonomická data týkající se poruchy a údržby. V čitateli jsou uvedeny náklady spojené s neudržovaným prvkem, od těchto nákladů odečteme náklady spojené s poruchou udržovaného objektu. Ve jmenovateli jsou uvedeny náklady údržby. Všechny údaje jsou vztaženy k období jednoho roku.

$$I = \frac{(12 \times 78\,630) - (78\,630 / 4)}{306\,482} = 3,01$$

Výsledný index ukazuje že vynaložené prostředky se cca třikrát zhodnotí ve snížení rizika. Což znamená, že vynaložené prostředky na údržbu zde mají své opodstatnění.



Ucpávka

Údržba ucpávky se skládá z mazání a revize zařízení, při které je jednou za deset let ucpávka vyměněna. Cena revize je 26 696 Kč, výměny 1 800 Kč a mazání 1 760 Kč. Mazání se provádí jednou za týden, trvá 9 minut a je spotřebováno v dlouhodobém průměru 0,02 kg tuku. Celková cena preventivní údržby je 30 256 Kč.

Mezi náklady následků poruchy patří zastavení stroje na čtyři dny. V těchto dnech se provede demontáž ložiska a výměna ucpávky. Tento čas je za předpokladu, že ucpávka je na skladě. Pro svoji velikost a cenu je ucpávka běžně skladem. Ztráta způsobená zastavením stroje je 12 480 Kč. Opravu provádí dva zaměstnanci. Jejich cena je 12 544 Kč náklady na náhradní díly jsou 18 165. V této částce je započten vyměněný olej, protože je třeba demontovat ložisko. Ostatní náklady jsou v tomto případě 10 000 Kč. Celkové náklady jsou 53 774 Kč.

Ze získaných dat vypočítáme obdobně jako u ložiska index efektivnosti údržby.

$$I = \frac{(53\,774 \times 12) - (53\,774 / 40)}{30\,256} = 21,28$$

Dosažený výsledek, je nejlepším výsledkem na jednom prvku, při stávající údržbě. Příčinou tohoto výsledku jsou relativně nízké náklady na údržbu oproti relativně vysokému riziku neudržovaného prvku.

Manžeta oběžného kola

Preventivní údržba u oběžného kola se skládá pouze z revizí a výměny manžety jednou za 4 roky. Náklady jsou tedy 26 946 Kč. Náklady na poruchu jsou 187 320 Kč a zahrnují náklady na demontáž turbíny a náklady na materiál.

Ze získaných ekonomických dat vypočítáme index efektivnosti údržby

$$I = \frac{(187\,320 / 6) - (187\,320 / 30)}{26\,946} = 0,93$$

Výsledek je blízký číslu 1, kde by měl být preferován provoz do poruchy zařízení. V tomto případě bychom toto nenavrhovali, protože v nákladech na poruchu nejsou zahrnuty náklady spojené s únikem oleje, které nejsou vyčísleny. Tyto náklady nejsou vyčísleny, protože k takovému úniku došlo pouze jednou a to v době, kdy se na ekologii moc nehledělo. Dnes by záleželo k jak velkému úniku by došlo a jak by se k úniku postavila Česká inspekce životního prostředí.



Rozváděcí lopatka

Údržba tohoto prvku stojí 28 519 Kč. Jsou zde náklady na revizi, náklady na mazání 1760 Kč a náklady na díly 63 Kč. Náklady na poruchu jsou 187 570 Kč. Obsahují náklady na demontáž zařízení a náklady na materiál.

Výpočet indexu efektivnosti u rozváděcí lopatky.

$$I = \frac{(187\,570/2) - (187\,570/40)}{28\,519} = 3,12$$

V tomto případě jsou vynaložené prostředky trojnásobně zhodnoceny ve snížení rizika. To znamená, že údržba je v tomto případě efektivnější než běh zařízení do poruchy.

Propojovací táhlo

Preventivní údržba se skládá z revizí a nákladů na díly vyměněné jednou za 20 let. Celkové náklady činí 26 856 Kč. Náklady poruchy 689 Kč zahrnují: materiál 200 Kč, odstavení stroje 1,5 hodiny (195 Kč) a náklady na pracovníka 294 Kč.

$$I = \frac{(689/2) - (689/10)}{26\,856} = 0,008$$

Index je v tomto případě velmi nízký, protože propojovací táhlo bylo zahrnuto do pravidelné revize ve stejném poměru jako ostatní prvky. Náklady na pravidelnou údržbu jsou proto vysoké. Škoda způsobená touto poruchou je přitom velmi nízká, protože případná porucha vyvolá jen velmi malé škody.

4.10 Návrh změny údržby

Při provedení analýzy současné údržby a porovnání dob do poruchy jednotlivých zařízení byly navrženy změny v údržbě. Protože doba do poruchy ložiska jsou čtyři roky, navrhujeme prodloužit interval revize na tři roky, protože ekonomický užitek převáží zanedbatelné navýšení míry rizika plynoucí z poruchy. K tomuto kroku přispěl i fakt, že nejkratší pravidelná výměna je také čtyři roky. Se změnou intervalu revize souvisí změna střední doby do poruchy prvku s údržbou, tato změna však nevyvolá žádný podstatný efekt, nebudeme proto brát v úvahu jejich změnu. Při výpočtu byl také zjištěn vysoký náklad na pravidelnou kontrolu oleje. Tento interval nebudeme měnit, protože kontrolu provádí obsluha rozvodny, která by daný čas nevyužila efektivněji.



Změna intervalu by přinesla optické snížení nákladů, reálně by však znamenala pouze snížený dohled nad turbínou.

4.10.1 Výpočet pro doporučenou údržbu

Náklady na preventivní údržbu (tabulka 5) klesnou z 26 696 Kč na 17 797 Kč. Pro uvedenou hodnotu nyní vypočítáme nové indexy. Ve všech výpočtech jsou změněny pouze náklady spojené s údržbou.

Ložisko

$$I = \frac{(12 \times 78\,630) - (78\,630 / 4)}{297\,583} = 3,10$$

Ucpávka

$$I = \frac{(53\,774 \times 12) - (53\,774 / 40)}{21\,357} = 30,15$$

Manžeta oběžného kola

$$I = \frac{(187\,320 / 6) - (187\,320 / 30)}{18\,047} = 1,38$$

Rozváděcí lopatka

$$I = \frac{(187\,570 / 2) - (187\,570 / 40)}{19\,620} = 4,54$$

Propojovací táhlo

$$I = \frac{(689 / 2) - (689 / 10)}{17\,957} = 0,015$$

Zhodnocení výsledků

Dosažené výsledky jsou lepší při novém intervalu údržby, což znamená, že tento systém údržby je efektivnější než stávající údržba. Relativně nejméně se zvýšil index u ložiska, protože finanční ohodnocení revize má v údržbě jen minimální podíl. Výsledek propojovacího táhla, kde výsledný index je velmi nízký, je ovlivněn rovnoměrným rozdělením nákladů na revizi mezi jednotlivé prvky. Původní náklady na rok údržby byly 419 059 Kč a po změně klesly na 374 114 Kč. Podnik po aplikaci nové údržby ušetří 44 945 Kč za rok, což znamená úsporu 11% z původních nákladů údržby.



5. Nedostatky metodiky RCM

5.1 *Nedostatky metodické*

Cílem metodiky je najít z dlouhodobého hlediska nejekonomičtější způsob údržby. V případě analýzy na technicky složitém zařízení nebo na systému o mnoha prvcích je taková analýza časově značně nákladná a je třeba zvážit, zda její vyhotovení přinese dostatečný profit. S tímto souvisí nejen počet nebo složitost zařízení, ale také hloubka, samotné analýzy, dána podrobností a počtem způsobů poruch a přesností vyčíslení nákladových položek. S náročností také souvisí potřeba odborníků z několika odvětví – z údržby, provozu, ekonomiky a dalších oblastí, kterých se může analýza dotknout. S touto náročností souvisí také zkušenost vedoucího analýzy, který musí být schopen jednotlivé informace sjednotit do komplexnějšího celku, popřípadě vědět kam až má analýza sahat. Je dobré, aby vedoucím člověkem byla osoba se zkušenostmi s touto analýzou a také člověk, který není přímo zainteresován v dané společnosti. Takový člověk má objektivnější náhled díky tomu, že netrpí tzv. provozní slepotou, a dokáže tak ostatním účastníkům analýzy navrhnout ke zvážení nové údržbové postupy. S časovou náročností samozřejmě přímo souvisí finanční náklady na analýzu. S rostoucí délkou analýzy stoupají náklady na její provedení.

Metodika se do značné míry opírá o zkušenosti pracovníků, kteří jsou k analýze přizváni, proto je tyto lidi třeba vybírat velmi pečlivě. Tým by měl obsahovat lidi z různých oblastí podniku, kteří by mohli být při analýze nápomocni. Není ovšem vhodné mít v týmu pracovníky ve vztahu nadřízeného a podřízeného. Tento vztah může ovlivňovat výsledné informace.

Další nedostatek vidím v možnostech získávání informací. V tomto směru je pro analýzu důležité jak podnik nakládá se získanými daty údržby, pokud tedy vůbec nějaká data podnik uchovává a analyzuje. Na kvalitě výsledné analýzy se velkou měrou podílí kvalita vstupních dat.

Při změně stávající údržby dojde ke změnám ve střední době do poruchy udržovaného zařízení. S provedenou změnou budeme nuceni pro stanovení této doby použít pouze expertního odhadu. Tento odhad v sobě nese větší pravděpodobnost chyby než při zpracování provozních dat.



5.2 Nedostatky analýzy kaplanovy turbíny

Doba do poruchy udržovaného a neudržovaného objektu ovlivňuje výsledek analýzy údržby vyjádřeného pomocí indexu efektivnosti. V mém případě se jednalo o expertní odhady všech dob do poruchy, jak pro nový tak pro stávající systém údržby. Při expertním odhadu hodně záleží na zkušenostech daného pracovníka, pro výpočet doby do poruchy při stávajícím systému údržby by bylo vhodnější použít data z údržbového deníku nebo jiné materiály týkající se údržby.

Ekonomické dopady jednotlivých poruch by měly být detailněji analyzovány, protože se jedná o důležitý vstupní parametr. V mém případě byly analyzovány náklady na jednotlivé díly, ale bylo zanedbáno možné poškození nebo zničení ostatních prvků při poruše na daném zařízení. Pro přesnější vyčíslení ostatních nákladů by bylo třeba započítané položky podrobněji analyzovat. Náklady na pracovníky údržby jsou získány ze statistik Českého statistického úřadu, proto nemusejí přesně odpovídat realitě v daném podniku.

Pro přesnější výpočet indexu efektivnosti by bylo vhodnější zvolit jiné rozdělení nákladů pravidelné revize, toto by vyžadovalo podrobný popis prováděných prací. Společně s pracovníky údržby bych potom mohl rozdělit náklady konkrétněji.

Dalším nedostatek vidím ve svých zkušenostech s prováděním takové analýzy, protože v případě navrhovaných změn a započítání některých nákladů, je potřeba mít s údržbou jisté zkušenosti, které mi nyní chybí.



6. Závěr

Z výsledků analýzy je patrné, že je možné pro danou turbínu sestavit ekonomičtější plán údržby, který by zohledňoval rizika plynoucí z havarijních stavů. Při dodržení navržené údržby by podnik ušetřil 44 495 Kč za rok, což znamená úsporu 11%. Z výsledků plyne, jaké způsoby poruch jsou pro turbínu ekonomicky nejnáročnější, takovým je třeba věnovat větší pozornost při sestavování nového plánu údržby. Při sestavování nového plánu údržby musí být přihlédnuto k dalším částem tanvaldské elektrárny. Stávající údržba je ekonomicky vyčíslena nejen pro stroj jako celek, ale i pro jeho jednotlivé prvky. To je údaj, kterým v současné době podnik nedisponuje.

Protože byla analýza vytvořena na funkčně poměrně jednoduchém zařízení, je tato práce vhodná i jako studijní materiál pro základní pochopení principů RCM. V teoretické části je shrnut vývoj údržby, metodika RCM a analyzovány jsou potřebná vstupní data. Na závěr práce jsou zhodnoceny nedostatky, které by měly být zohledněny při rozhodování, zda na zařízení aplikovat danou analýzu.

Na tanvaldské vodní elektrárně v blízké době proběhne modernizace daného zařízení, aby nemuselo mít nepřetržitou obsluhu, provedená analýza ukazuje i takto malému podniku nový směr v navrhování plánů údržby. Již při tvorbě práce bylo zřejmé, že sběr dat z údržby má pro daný podnik smysl. Nedostatkem konkrétní analýzy je rovnoměrné rozdělení nákladů mezi sledované prvky a zanedbání vlivu poruchy na ostatní zařízení, k tomuto zanedbání došlo v důsledku nedostatku konkrétních dat.



7. Literatura

- [1] Moubray J. M.: *Reliability-centred Maintenance*. Second edition. Butterworth-Heineman, Oxford, 1997
- [2] Fuchs P.: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*, Liberec, 2002
- [3] Legát V., Fuchs P., Richter J., Kupčík F., Čapek J., Voldán F.: *Údržba a spolehlivost*, seminář Mladá Boleslav, 2005
- [4] *Časopis IT Systems* [online]. 2001 [cit. 2009-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.systemonline.cz/clanky/informacni-systemy-v-koncepci-udrzby-a-oprav-vyrobnich-zarizeni.htm>>.
- [5] *Technický deník* [online]. 2006 [cit. 2010-01-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=408&mark=>>>.
- [6] *Mechanika tekutin* [online]. 2009 [cit. 2010-02-15]. Dostupné z WWW: <http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/mt/Mechanika_tekutin-cast_11.pdf>.
- [7] *Regionální statistika ceny práce* [online]. 2010 [cit. 2010-04-1]. Dostupné z WWW: <http://portal.mpsv.cz/sz/stat/vydelky/download/2009/lib_094_ps.pdf>.
- [8] Vališ D.: *Hodnocení rizika*, Technická univerzita v Liberci, přednášky, Liberec 2009